



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**Influencia de la concentración y tiempo de contacto de coagulante de Penca Azul
(*Agave Americana L*). En la turbidez y sst del efluente de extracción de aceite
de limón.**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. LUCÍA ROSAURA PARRAGUEZ MENDOZA

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA QUÍMICA

ASESORAS:

Dra. TARCILA AMELIA CABRERA SALAZAR

Dra. LIZ AMELIA JUANITAFLORES MORALES CABRERA

LAMBAYEQUE – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**Influencia de la concentración y tiempo de contacto de coagulante de Penca Azul
(*Agave Americana L*). En la turbidez y sst del efluente de extracción de aceite
de limón.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA QUÍMICA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Dr. Wilton Oswaldo Rojas Montoya

Presidente

Ing. M. Sc. Ronald Alfonso Gutiérrez Moreno

Secretario

Ing. Dr. Sebastián Huangal Scheineder

Vocal

Ing. Dra. Tarcila Amelia Cabrera Salazar

Asesora de la especialidad

Dra. Liz Amelia Juanitaflor Morales Cabrera

Asesora metodológica

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen por ser pilares en mi vida espiritual y porque hasta el día de hoy siempre han guiado mi camino.

A mis madres: Carmen Mendoza y María Parraguez que sé que desde el cielo siempre me acompañan y además sé que estarán orgullosas al verme culminar mi etapa profesional.

A mi padre Manuel Parraguez por haberse siempre empeñado en darme ese regalo invaluable como es la educación.

A Ana, Nancy y Paula, por su constancia, dedicación y empuje para conmigo, siempre estaré infinitamente agradecida.

A mi pequeño Sergio Manuel Zikaru; quien hoy es mi motor y motivo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y a la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, mi alma mater y fuente de mi educación profesional

A la Dra. Tarcila Amelia Cabrera Salazar, por su asesoramiento y dedicación brindados durante el desarrollo de esta Tesis.

A la Dra. Juanitaflor Morales Cabrera por sus correcciones y sugerencias en esta investigación.

Al Sr. Floriano por su tiempo, paciencia y poder facilitar el laboratorio para el desarrollo de esta investigación

A los docentes de la FIQIA por todos los conocimientos brindados a lo largo de nuestra formación académica

ÍNDICE

	Pag.
LISTA DE TABLAS	1
LISTA DE FIGURAS	2
LISTA DE ANEXOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCION	7
ANTECEDENTES	9
I. BASE TÓRICA	12
<i>1.1.Efluentes de plantas de procesamiento de limón</i>	13
<i>1.2.Tratamiento de efluentes industriales</i>	13
<i>1.3.Penca Azul (Agave Americana)</i>	15
<i>1.4.Teoría de coagulación</i>	18
<i>1.5.Extracción</i>	27
<i>1.6.Turbidez</i>	28
<i>1.7.Sólidos totales suspendidos (SST)</i>	28
<i>1.8.Normas legales</i>	28
II. MATERIALES Y METODOS	31
<i>2.1.Descripción del ámbito de estudio</i>	32
<i>2.2.Diseño experimental</i>	34
III. RESULTADOS	48
IV. DISCUSION	57
V. CONCLUSIONES	60
VI. RECOMENDACIONES	62
VII. BIBLIOGRAFIA	64
VIII. ANEXOS	68

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de los Agaves.....	17
Tabla 2. Coagulantes Metálicos	19
Tabla 3. Límites máximos permisibles para riego de vegetales y bebidas de animales	30
Tabla 4. Diseño factorial	34
Tabla 5. Características del coagulante extraído	49
Tabla 6. Características iniciales de los efluentes de proceso de extracción de aceite esencial de limón	49
Tabla 7 Análisis factorial de varianza para porcentaje de disminución de SST	52
Tabla 8. Resultado ANOVA para porcentaje de disminución de SST	53
Tabla 9. Análisis factorial de varianza para disminución de Turbidez	55
Tabla 10. Resultado ANOVA de porcentaje de disminución de turbidez	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Morfología de una planta de Agave.	16
Figura 2. Coagulación.	18
Figura 3. Mecanismo de la doble capa.	21
Figura 4. Fuerzas de atracción y repulsión.	22
Figura 5. Efecto de puente de las partículas en suspensión.	23
Figura 6. Modelo de puentes en la desestabilización de coloides mediante polímeros	25
Figura 7. Etapas de coagulación.	26
Figura 8. Ubicación planta Agroindustrias AIB.	32
Figura 9. Toma de muestra.	33
Figura 10. Cortado de Penca Azul	38
Figura 11. Diagrama de obtención de coagulante de Penca Azul	39
Figura 12. Porcentaje de disminución de SST con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 5 min	50
Figura 13. Porcentaje de disminución de SST con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 10 min	50
Figura 14. Porcentaje de disminución de SST con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 10 min	51
Figura 15. Porcentaje de disminución de SST vs concentración del coagulante a distintos tiempos.	52
Figura 16. Porcentaje de disminución de Turbidez con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 5 min	53
Figura 17. Porcentaje de disminución de Turbidez con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 10 min	54
Figura 18. Porcentaje de disminución de Turbidez con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 15 min	54

Figura 19. Porcentaje de disminución de Turbidez vs concentración del coagulante a distintos tiempos.....	55
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Obtención y caracterización del coagulante de penca azul (Agave Americana L.).....	69
Anexo 2 Tratamiento de efluentes dl proceso de extracción de limón con coagulante de Penca Azul.....	71
Anexo 3: Resultados finales de porcentajes de disminución de Turbidez y SST	73
Anexo 4 Cálculos estadísticos.....	74
Anexo 5 Galería Fotográfica	77

RESUMEN

Se realizó el presente trabajo de investigación con el objetivo de determinar la influencia de la concentración y tiempo de contacto del coagulante de penca azul (*Agave Americana L.*) en la turbidez y SST sobre los efluentes del proceso de extracción de aceite de limón después de haber pasado por un tratamiento primario. Primero se obtuvo el coagulante de Penca Azul (*Agave Americana L.*) con un porcentaje de rendimiento del 7.76%, utilizando en total 1450 g de penca cortada en cuadrados, obteniendo 113g de coagulante, el cual se extrajo mediante el siguiente proceso: acondicionamiento, secado, triturado, extracción, secado y macerado.

Se procesaron dieciocho muestras de agua de los efluentes del proceso de extracción de aceite esencial de limón y se realizó el análisis del contenido turbidez y SST antes y después de cada tratamiento. También se tuvo en cuenta el pH del agua antes de iniciar cada uno de estos y se reguló con lechada de cal. Se evaluaron tres concentraciones de coagulante de penca azul: 20, 40, 60 ppm y tres tiempos de contacto: 5, 10 y 15 min a una velocidad de coagulación de 100 rpm de un tiempo de floculación de 20 min a 50rpm realizando dos repeticiones por tratamiento y dejando sedimentar por 30 min. Después de 30 min de sedimentación se sometió a un análisis de turbidez y SST, presentando el porcentaje de disminución de SST y turbidez de 92.94% y 96.96% respectivamente (60 ppm en 5 min), ya que los SST iniciales fueron de 14400 mg/L y finalmente fue de 1016 mg/L, mientras que la turbidez inicial fue de 191 UNT y la final fue de 5.8 UNT. Con lo cual se concluyó que la concentración y el tiempo de contacto de coagulante de penca azul (*Agave Americana L.*) influye en la turbidez y SST del efluente del aceite de limón.

ABSTRACT

The present research work was carried out with the objective of determining the influence of the concentration and contact time of the blue penca coagulant (*Agave Americana* L.) on turbidity and TSS on the effluents of the lemon oil extraction process after Having gone through a primary treatment. First, the Penca Azul coagulant (*Agave Americana* L.) was obtained with a yield percentage of 7.76%, using a total of 1450 g of penca cut into squares, obtaining 113g of coagulant, which was extracted by the following process: conditioning, drying, crushing, extraction, drying and macerating.

Eighteen water samples from the effluents of the lemon essential oil extraction process were processed and turbidity and OSH content analysis was performed before and after each treatment. The pH of the water was also taken into account before starting each of these and was regulated with whitewash. Three concentrations of blue penca coagulant were evaluated: 20, 40, 60 ppm and three contact times: 5, 10 and 15 min at a coagulation rate of 100 rpm of a flocculation time of 20 min at 50rpm performing two repetitions per treatment and allowing to settle for 30 min. After 30 min of sedimentation, it was subjected to a turbidity and sst analysis, presenting the percentage of decrease in SST and turbidity of 92.94% and 96.96% respectively (60 ppm in 5 min), since the initial SSTs were 14400 mg / L and finally it was 1016 mg / L, while the initial turbidity was 191 NTU and the final was 5.8 NTU. Therefore, it was concluded that the concentration and contact time of coagulant of blue penca (*Agave Americana* L.) influences the turbidity and SST of the lemon oil effluent.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el deterioro ambiental, causado por las actividades industriales, agroindustriales y el crecimiento demográfico, pone a la sociedad actual en una situación en la que es necesario replantear tanto los procesos de producción, como los materiales y sustancias utilizadas para la solución de diferentes problemáticas ambientales. (Klašnja, Antov, Škrbic, & Šc, 2009) Una de las preocupaciones ambientales más estudiadas es la contaminación de los recursos hídricos, generados por la industria textil, curtiembres, agroindustriales, entre otras. Para (Tesén & Molinero, 2013), una de las agroindustrias de mayor alcance en nuestra región es la dedicada al proceso del limón, las cuales, durante la transformación del mismo, eliminan efluentes cuyas características, tales como: ph, turbidez, sólidos totales, color, olor, entre otros, les da la condición de ser no aptos para ser vertidos a cualquier cuerpo receptor de agua, afectando la vida acuática, campos de cultivos y poblaciones cercanas a la zona.

Una de las técnicas más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales industriales es la coagulación y floculación, estos procesos se realizan con coagulantes químicos o naturales. En la actualidad, los coagulantes usados, son en su mayoría sales metálicas y polielectrólitos sintéticos. Dado que los primeros químicos son arrastrados al sedimentar, los lodos generados durante el proceso se convertirían también en un problema ambiental. La problemática presentada es determinar la concentración y el tiempo de contacto del coagulante de la penca azul (*Agave Americana L.*) en la turbidez y SST del efluente de aceite de limón.

Para ello se plantea el objetivo general de determinar la influencia de la concentración y el tiempo de contacto del coagulante de la penca azul (*Agave Americana L.*) en la turbidez y SST del efluente de extracción de aceite de limón. Para lo cual se plantean los siguientes objetivos específicos: analizar los efluentes del proceso de extracción de aceite esencial de limón, contrastar con las normas establecidas y los límites máximos permisibles, extraer coagulante-floculante natural de la *Agave Americana L.*, determinar la concentración y

tiempo de contacto óptimos del coagulante de *Agave Americana L.*, analizar los resultados obtenidos, y contrastar con las normas para determinar la eficiencia del coagulante.

Según normas legales peruanas, los niveles máximos de turbidez y sólidos totales suspendidos para aguas en contacto con animales y plantas son de 5 UNT y 1000 mg/L, es por ello que se considera pertinente buscar fuentes naturales para la producción de coagulantes amigables con el medio ambiente y más accesibles a las economías emergentes de los países en vía de desarrollo. Es decir las fuentes de obtención ideales no deben afectar la cadena alimenticia y tener una mínima o nula toxicidad.

De esta manera parte la importancia de evaluar la concentración y el tiempo de contacto del coagulante de la penca azul (*Agave Americana L.*) en la turbidez y SST del efluente de aceite de limón, de esta manera no se afecta la cadena alimenticia y se tiene una mínima o nula toxicidad.

Se concluye que tanto la concentración como el tiempo de contacto del coagulante de la penca azul (*Agave Americana L.*) influyen de manera significativa en la disminución de turbidez y sólidos suspendidos totales.

ANTECEDENTES

(Apaza, 2013), indica que al evaluar la capacidad coagulante-floculante del extracto de nopal se logró reducir la turbidez del agua hasta un valor de 18.34 UNT, y un pH de 7.11, empleando una concentración de 80 %, lo cual es favorable, y permitirá que el resto de contaminantes se purifiquen mediante un filtro.

La evaluación conjunta del sistema, que comprende un primer tratamiento con extracto de nopal con una concentración de 80% y luego el tratamiento con un filtro, permitió llegar a la conclusión de que es posible reducir los valores de coliformes totales y la turbidez, hasta valores de 2,000 NMP/ 100 ml y 4.1 UNT respectivamente. En función a ello, se puede concluir que a través del uso del sistema se lograrán obtener buenos resultados. Este procedimiento, asimismo, resulta económico, ya que los materiales que se emplean son relativamente baratos, haciendo de esta tecnología una alternativa para la purificación de aguas contaminadas.

(Aldana, 2012), concluye que los resultados obtenidos demuestran el alto poder coagulante que posee el extracto de semilla de moringa oleífera tanto como coagulante principal, así como ayudante de coagulación, esto debido a que remueve la turbiedad a valores aceptables por la normativa nacional.

Los resultados obtenidos indican que el extracto de semilla de la moringa oleífera utilizada como coagulante primario reduce la turbiedad a valores ~ 2 UNT (límite de la normativa nacional).

(Contreras & Gutierrez, 2015), concluye que el *Agave Americano* (penca) como coagulante natural resultó ser eficiente, y con la ayuda del filtro lento logro remover la turbiedad al 79.56% de una muestra inicial de 40.7 UNT hasta 8.32 UNT en una primera muestra; y en una tercera muestra removió hasta un 68.61% de una muestra inicial de 13.7 UNT hasta 4.3 UNT en una tercera muestra, llegando de esta manera por debajo de los límites máximos permisibles (5 UNT).

(Moreno, 2016), concluye que la disminución de la turbidez del agua que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba, se realizó de manera favorable, logrando reducir la turbidez en un 61,09% al usar *Opuntia ficus indica*, en un 48,47% al usar *Caesalpinia spinosa* y en un 42,48% en el caso del uso de Aloe vera, siendo *Opuntia ficus indica* la más efectiva. Así mismo, con respecto a la cantidad del recurso vegetal usado la variación de la turbidez es mínima; sin embargo se puede observar que la mejor cantidad a usar es la de 6 g, demostrando mayor eficiencia en la reducción de la turbidez; sin embargo en el caso de los tratamientos *Caesalpinia spinosa* y *Aloe vera* las cantidades de coagulante-floculante vegetal influyen de manera muy mínima ya sea para cantidades de 6 g y 9 g, no se denota mucha diferencia.

Por otro lado, la reducción de la turbidez del agua al utilizar dos velocidades influye de manera significativa, siendo la velocidad más eficaz la de 100 rpm, dando resultados favorables en el proceso de reducción de la turbidez; sin embargo se denota que en el tratamiento *Caesalpinia spinosa* la influencia de la velocidad de agitación es mínima.

(M. Quispe & Rondoño, 2018), proponen el uso del nopal como coagulante natural, comúnmente llamado tuna, teniendo como objetivo principal medir la eficacia del mucilago extraído del nopal para usarlo como complementario del sulfato de aluminio en el proceso de tratamiento para clarificar el agua del Río Magdalena en Sucre, mediante la prueba de jarras se realizó la clarificación, aplicando dos concentraciones de 35 y 40 mg/L a velocidades de 100 y 200 rpm aplicando dos tiempos de agitación de 20 y 30 minutos, teniendo en cuenta el pH, la porción y concentración del coagulante y la velocidad a la que se agitará la muestra; de este modo se determinó una eficiencia superior al 50%, siendo las concentraciones más efectivas 96 – 98% de coagulante nopal, este a su vez no afectó el pH de manera significativa, manteniendo las características iniciales de este, obteniendo como conclusión la alta efectividad del coagulante de nopal, reduciendo altamente la coloración y turbidez del agua, llegando a un aproximado de 80% de efectividad.

(Vazquez, 1994), nos muestra que aplicando coagulante natural solo, la remoción de SST resultó en 33.4 % habiendo iniciado con 90 ppm y finalizando con 60 ppm para *O.lindheimeri*, mientras que para *O. Imbricata* resulto de 11.2% finalizando con 80 ppm.

I. BASE TÓRICA

1.1. Efluentes de plantas de procesamiento de limón

La mayoría de efluentes del proceso de transformación de limón provienen del lavado de la materia prima, lavado de la cáscara, lavado de los equipos, así como del proceso de destilación.

La presencia de sólidos orgánicos solubles e insolubles en los efluentes, constituye una contaminación por carga orgánica, aumento de turbidez en el agua, pH, color, olor, entre otras características que hacen de estos efluentes no aptos para ser vertidos a la red de desagüe.

1.2. Tratamiento de efluentes industriales

Los sistemas de tratamiento de efluentes industriales consisten generalmente en una secuencia de procesos que dependen de las características del agua residual a tratar y del grado de purificación requerido según los niveles de contaminación permitidos por la legislación, lo que depende fuertemente del lugar de descarga y cuerpo receptor. La secuencia de procesos consiste básicamente en una serie de tratamientos denominados tratamiento previo, primario, secundario y, eventualmente, terciario y cuaternario.

A. Tratamientos previo y primario

Los tratamientos previo y primario tienen como finalidad acondicionar el efluente para los tratamientos posteriores. Consisten en eliminar por medio de métodos físicos elementos que puedan dañar a los equipos o procesos subsiguientes en la planta, así como estabilizar el pH. También se pueden incluir dentro de esta clasificación procesos químicos de coagulación y floculación.

B. Tratamiento secundario

Los tratamientos secundarios incluyen procesos biológicos y químicos. Los procesos biológicos comprenden tratamiento por barros activados,

sistemas de lecho fluidizado, lagunas aireadas, tratamientos anaerobios, tratamientos de percolación como los filtros biológicos, humedales, entre otros.

C. Tratamiento terciario y cuaternario

Son procesos de refinamiento y se utilizan en caso de necesidad e incluyen tratamientos como filtración, lagunaje, desinfección con cloro u ozono, precipitación química de fósforo con sales de hierro, etc. (Alasino, 2009, pp. 3, 4)

1.2.1. Homogenización de efluentes

Con el mezclado y homogenización de los distintos efluentes generados en el proceso productivo se consigue disminuir las fluctuaciones de caudal de los diferentes vertidos, consiguiendo una única corriente de caudal y concentración más consistente. (Calidad, n.d.)

1.2.2. Cribado

Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas. El objetivo es eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro.

El equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6 o más mm, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100 mm. Se limpian con rastrillos que se accionan normalmente de forma mecánica. (Freire, 2012, p. 28)

1.2.3. Coagulación

Como se menciona en (Carrasquero et al., 2019) la coagulación es un proceso de desestabilización de las partículas coloidales que se produce al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas por medio de la adición de coagulantes y la aplicación de la energía de mezclado. El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un coagulante en el agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.

1.2.4. Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación; consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

Estos flóculos, inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. (Bratby, 2016, p. 318)

1.2.5. Sedimentación

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada (Freire, 2012, p. 12)

1.3. *Penca Azul (Agave Americana L.)*

Los Agaves son plantas perennes que presentan raíces fibrosas y duras, con tallo corto y grueso raramente alargado; sus hojas se encuentran dispuestas en roseta, crecen en forma de cono sobrelapadas, son gruesas con parénquima esponjoso, están cubiertas por una capa externa de cera; el sistema vascular de estas plantas circula por sus hojas, creando fibras por todo lo largo de la hoja, por lo que son duras, rígidas y fibrosas en el centro, sus márgenes presentan espinas ganchudas o rectas, características de cada especie, su permanencia en la planta es de 12 a 15 años. Su inflorescencia se presenta en forma de espiga o panoja con escapo (pedúnculo) largo y semileñoso, puede estar ramificada

(panícula) o no ramificada (racimo o espiga); las flores son bisexuales con 6 tépalos unidos debajo del ovario con forma de estructura tubular o acampanada, de color amarillo o verdoso principalmente; el fruto es una cápsula seca con semillas aplanadas de color negro. Su reproducción puede ser de tipo sexual (por semillas) o asexual (vegetativa), la mayoría de las especies usan ambos mecanismos. Pueden ser polinizados por murciélagos, insectos y colibríes (Contreras & Gutierrez, 2015, p. 21)

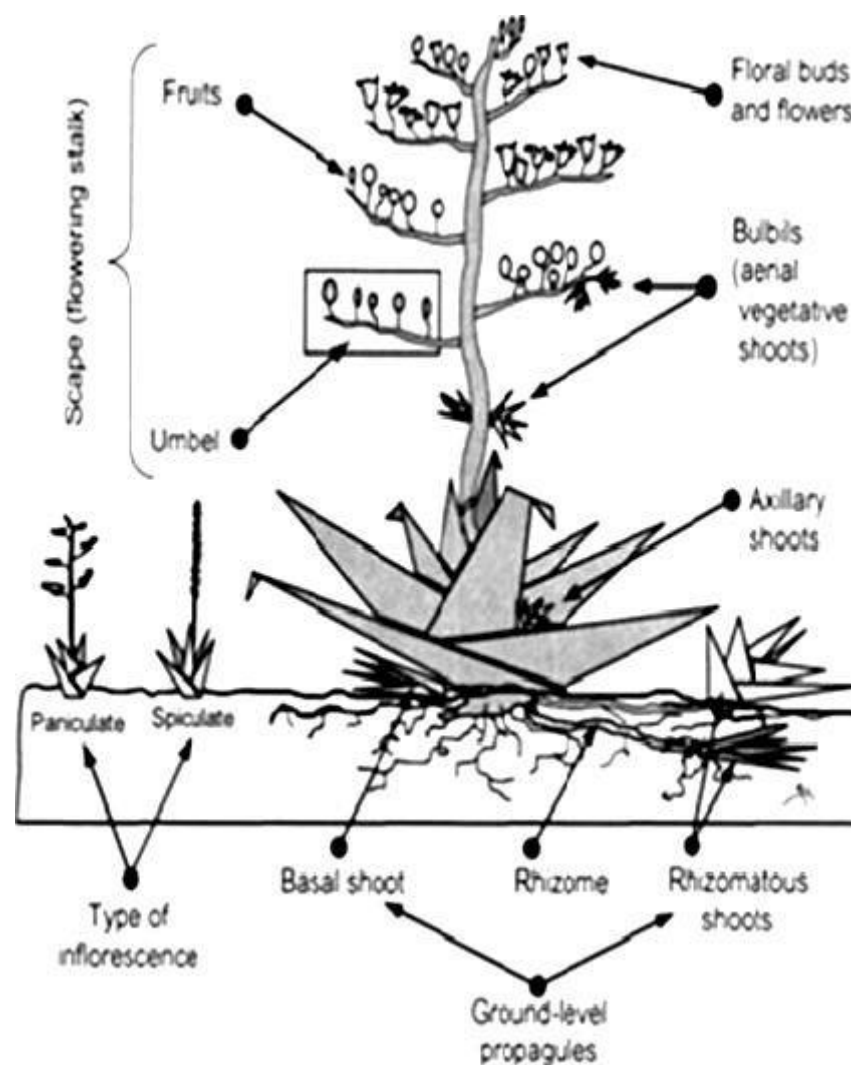


Figura 1: Morfología de una planta de Agave.

Fuente: Recuperado de “Remoción de plomo de aguas del efluente minero de Yauli La Oroya utilizando el coagulante de Maguey (*Agave Americana* L)”. p.72, por Contreras, K. y Gutierrez, M. 2015 (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional del Centro del Perú.

1.3.1. Usos

Uno de los principales usos y en el cual se enfoca esta tesis es el de coagulante. Es interesante mencionar que los poli electrolitos naturales se han utilizado por muchos siglos en los países en desarrollo para clarificar agua, tal es el caso de la India donde hace más de 4000 años se utilizaban las semillas del agave para la clarificación de aguas turbias, también cabe resaltar que en África los aldeanos añaden al agua para beber, plantas nativas para reducir la turbiedad a los olores y 23 sabores desagradables. Por otro lado los británicos fueron de los primeros en utilizar poli electrolitos naturales como coadyuvantes coagulantes. (Contreras & Gutierrez, 2015, p. 22)

1.3.2. Características del Agave Americano L

Tabla 1.

Características del Agave

Característica	Porcentaje
Solidos	33 % (Celulosa 36.20%, Fructano 69.75% y Lignina 17.02%)
Humedad	67%
Azucares	· 75 Partes de Fructosa (índice glucémico bajo por lo que es apropiado para diabéticos). · 25 Partes de Glucosa. · 5 Partes de Inulina (índice "0").
Agua Miel	· 30 gr. de extracto no nitrogenado. · 0,4% de proteínas

Fuente: Adaptado de "Perspectives in Biophysical Plant Ecophysiology. A Tribute to Park S.Nobel, P", por De la Barreera, E y Smith, W. The authors. (2009). México

1.4. Teoría de coagulación

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible (Pérez, Richter, & Cánepa de Vargas, 1977)

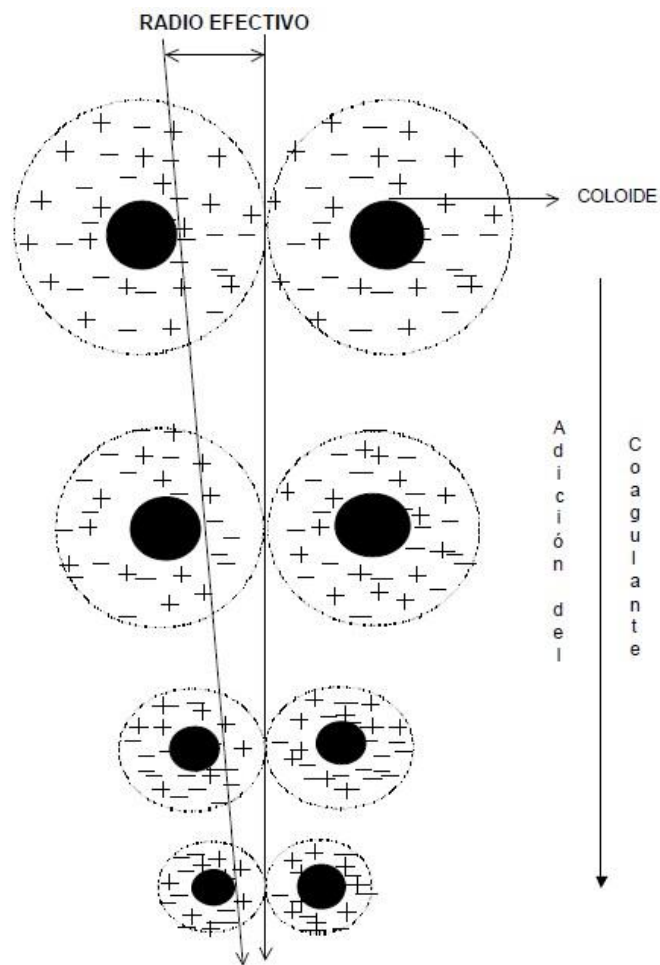


Figura 2: Coagulación.

Fuente: Recuperado de "Tratamiento de agua Coagulación y Floculación." p.10, por Andía, A. 2000 (Documento), SEDAPAL

1.4.1. Tipos de coagulante

- Coagulantes metálicos: a lo largo de la historia, han sido los más utilizados para el tratamiento del agua cruda, poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes, cuando son disueltos estos

forman compuestos complejos hidratados como: $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ y $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. En la mayoría de los casos, solo funcionan en un intervalo de pH muy estrecho; además si se dosifican en exceso pueden llegar a ser nocivos para la salud humana. Entre los más utilizados se hallan (Martínez & Gonzáles, 2012):

Tabla 2

Coagulantes Metálicos

COMPUESTOS	FORMULAS QUIMICAS
Compuestos de Aluminio	
Sulfato de aluminio	$\text{Al}_2\text{SO}_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
Aluminato de sodio	NaAlO_2
Alumbre de potasio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Alumbre de amonio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Policloruro de aluminio	$\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{N}_{6-n}$
Compuestos de Hierro	
Cloruro férrico	FeCl_3
Sulfato férrico	$\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$
Sulfato ferroso	$\text{Fe}(\text{SO}_4)_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Fuente: Recuperado de “Estado del Arte – Coagulación” p.18, por Pérez, J. 1977 (Manual CIFCA/CEPIS/OPS/OMS).

- Polielectrólitos: son polímeros orgánicos sintéticos de gran tamaño molecular con carga eléctrica neta, existen gran variedad disponibles en el mercado, estos coagulantes son muy eficaces en un amplio rango

de pH y debido a su alto costo se utilizan junto con los coagulantes metálicos. Se clasifican según su carga en:

- Catiónicos: estos tienen carga positiva, al entrar en contacto con el agua forman aniones, los cuales permiten remover las partículas de carga negativa y son más eficaces a pH bajos.
- Aniónicos: tienen carga negativa, al entrar en contacto con el agua forman cationes, que permiten remover las partículas de carga positiva y son más eficaces a pH altos.
- No iónicos: son neutros, al entrar en contacto forman iones positivos y negativos. Pero se necesitan dosis mayores en comparación con los anteriores para obtener resultados similares.
- Coagulantes Naturales: son una fuente alternativa con un gran potencial que aún no se ha explotado. Por lo general presentan una mínima o nula toxicidad, en muchos casos son productos alimenticios, con alto contenido de carbohidratos y proteínas. Entre el grupo de sustancias conocidas que poseen estas propiedades aglomerantes se encuentran algunos compuestos orgánicos de origen vegetal, los cuales pueden obtenerse del tallo o las semillas de una enorme variedad plantas como la moringa oleífera, la Tuna, el frijol, maíz entre otros. Tienen alta efectividad para aguas con una baja turbidez, también presentan buena eficiencia en aguas industriales. Los polímeros naturales se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y plantas. Poseen una compleja estructura química, por lo general están constituidos por varios tipos de polisacáridos y proteínas. Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares son utilizados en forma empírica por los nativos para aclarar el agua turbia con muy buenos resultados. (Martínez & Gonzáles, 2012, pp. 42–44)

1.4.2. Mecanismos de coagulación

- Modelo físico o de la doble capa

Dentro del Agua Superficial, las partículas coloidales, son las causantes de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos.

Los iones que se adhieren fuertemente a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, por lo tanto hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta. (Andía, 2000, pp. 8–9)

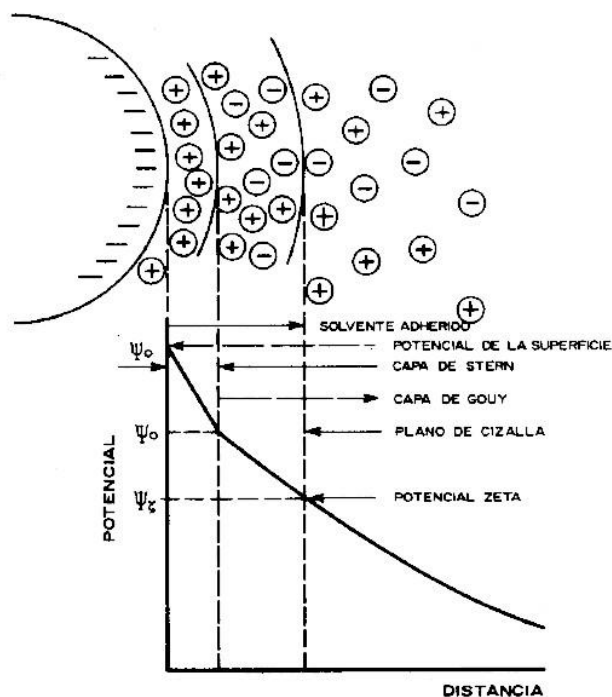


Figura 3: Mecanismo de la doble capa.

Fuente: Recuperado de "Coagulación" p.11, por Pérez, J., Canepa, L., Richter, C. 1984 (Manual Evaluación de plantas de tratamiento de agua potable). CEPIS

Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial es función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue solo con los iones del coagulante.

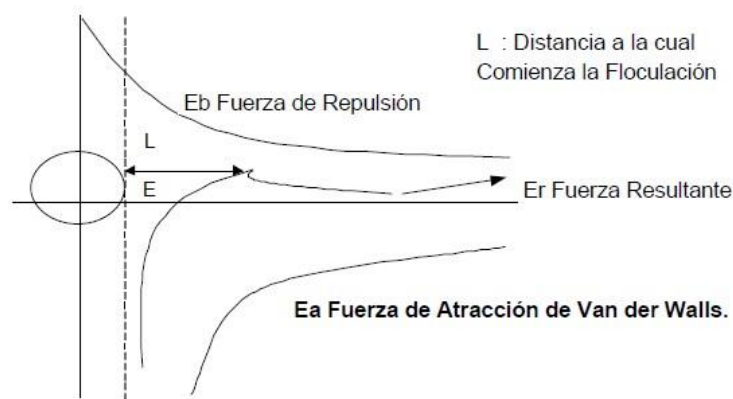


Figura 4: Fuerzas de atracción y repulsión.

Fuente: Recuperado de “Tratamiento de agua Coagulación y Floculación.” p.11, por Andía, A. 2000 (Documento), SEDAPAL

Si la distancia que separa a las partículas es superior a “ L ”, entonces las partículas no se atraen. E es la energía que los mantiene separados

- Modelo químico o de puente químico

Esta teoría supone una molécula polimérica unida a la superficie del coloide en uno o más sitios, mientras el resto de los sitios de adsorción están vacantes, los que pueden ser ocupados por otros coloides generando así un puente químico. Esto genera un aumento de tamaño y la consiguiente precipitación. (H. Quispe, 2012, p. 27)

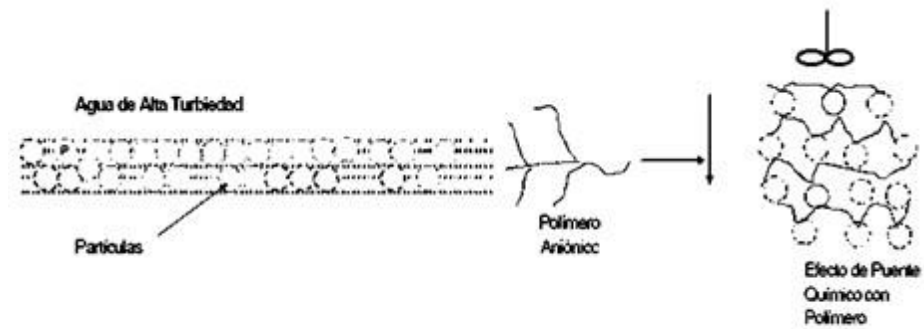


Figura 5: Efecto de puente de las partículas en suspensión.

Fuente: Recuperado de “Tratamiento de agua Coagulación y Floculación.” p.14, por Andía, A. 2000 (Documento), SEDAPAL

· Puente interparticular

Se ha observado que muchas veces los polímeros con carga negativa son efectivos para coagular coloides con carga negativa, fenómeno que lo puede ser explicado de acuerdo con modelos basados en la neutralización de cargas. Se ha desarrollado la teoría del "puente" que, al menos, explica cualitativamente este fenómeno.

La figura 6 describe gráficamente la teoría:

Reacción1. Un polímero tiene ciertos grupos que interaccionan con la superficie de las partículas coloidales y se deja que el resto de la molécula se extienda hacia la solución.

Reacción 2. Si una segunda partícula con algunos sitios de adsorción vacíos entra en contacto con los segmentos extendidos, puede realizarse una unión. El polímero sirve de puente en el complejo partícula - polímero - partícula.

Reacción 3. Si no se dispone de una segunda partícula, los segmentos dispersos del polímero pueden eventualmente adsorberse en otros lados de la partícula original, lo que hace imposible que el polímero sirva de puente y se produce la reestabilización de las partículas.

Debido a que tanto el coloide como el polímero tienen la misma carga, no se puede atribuir la reestabilización a la reversión de cargas.

Reacción 4. El modelo de puente puede explicar cualitativamente la reestabilización como resultado de la saturación de las superficies coloidales por el polímero, sin dejar lugar para la formación de puentes interparticulares.

Reacciones 5 y 6. En algunos casos, los sistemas coloidales desestabilizados puede ser reestabilizados por medio de agitación intensa debido a que se rompen las uñas polímero - superficie, y ocurre una adsorción secundaria de los fragmentos de los flóculos. (Aldana, 2012, pp. 20–21)

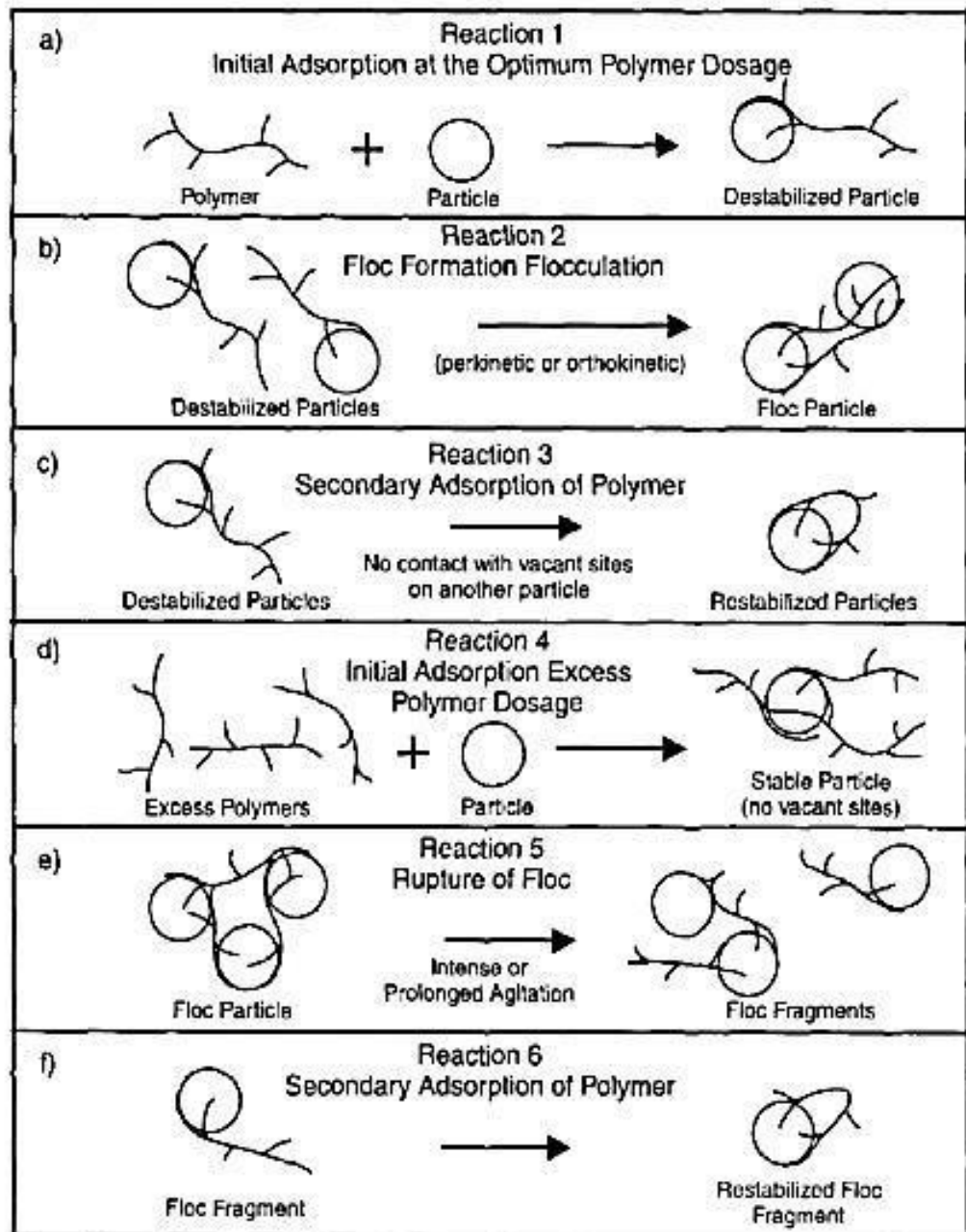


Figura 6: Modelo de puentes en la desestabilización de coloides mediante polímeros

Fuente: Recuperado de "Handbook of public water systems", por Bagwell, T., Henry, H y Kenneth, M. 2001. HDR Engineering Inc., New York.

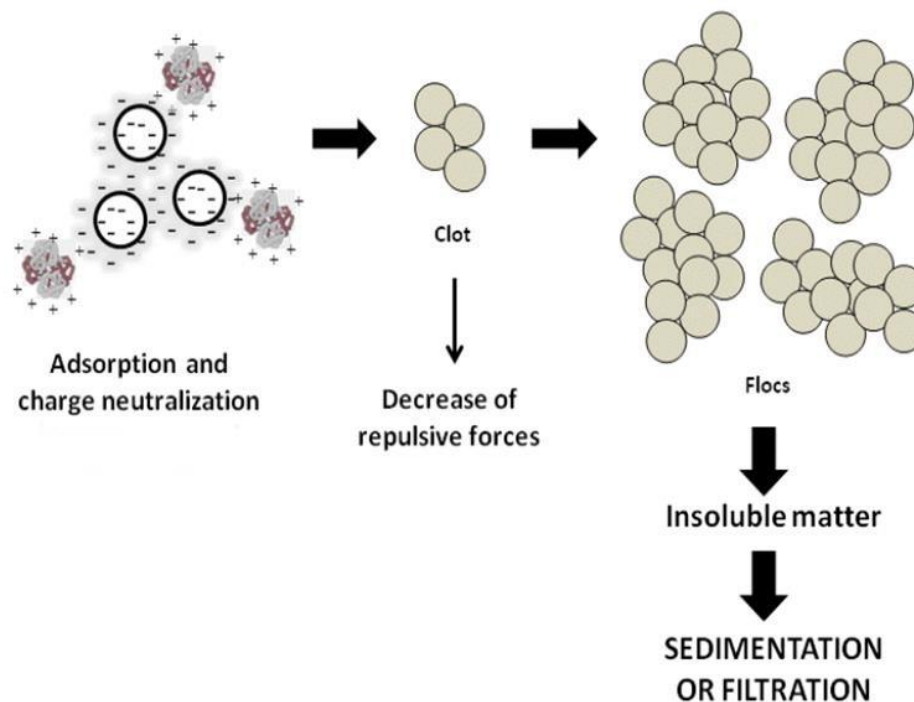


Figura 7: Etapas de coagulación.

Fuente: Recuperado de “Coagulation, flocculation, agglutination and hemagglutination: similar properties ?.” p.64 , por (Santos, Luz, Napoleao, Paiva, & Coelho, 2014) Artículo científico.

1.4.3. Tiempo de contacto

El tiempo de contacto es básicamente el tiempo de mezclado en el que interactúan tanto el coagulante-floculante vegetal y las muestras de agua a usar, este proceso debe ser vigilado constantemente, puesto que se debe considerar como tiempo inicial desde momento de contacto y tiempo de efectividad desde la formación de los primeros flóculos, se toman en cuenta el tiempo medido en minutos para las pruebas de laboratorio. (Moreno, 2016, p. 11)

1.4.4. Velocidad de agitación

La velocidad se toma en cuenta en el caso de acelerar el proceso de floculación de los coloides, ya que estos por su pequeño tamaño son de difícil sedimentación, ayudando a la aglomeración rápida de las partículas que causan la turbidez en el agua a tratar, la velocidad de

agitación se medirá mediante revoluciones por minuto, las cuales pueden ir en intervalos iniciando de manera veloz a lenta o de forma constante (Olivero, Aguas, Mercado, Casas, & Montes, 2014, p. 4).

1.5. Extracción

La extracción es una de las operaciones básicas del laboratorio. Se define como la acción de separar con un líquido una fracción específica de una muestra, dejando el resto lo más íntegro posible. Se pueden realizar desde los tres estados de la materia, y se llaman de la siguiente manera:

- a) Extracción sólido – líquido
- b) Extracción líquido – líquido
- c) Extracción gas – líquido.

La primera es la más utilizada donde se aplica la extracción con el equipo Soxhlet. Como ejemplo se pueden citar todas las obtenciones de principios activos de los tejidos vegetales. La segunda tiene usos especialmente en química analítica cuando se extrae el producto de una reacción efectuada en fase líquida con un solvente específico para separar uno o algunos de los componentes. Por último un ejemplo de la tercera, gas – líquido, que ordinariamente se llama ‘lavado de gases’, es el burbujeo por una fase líquida de un gas que se quiere lavar o purificar. (Lamarque et al., 2008, p. 51)

1.5.1. Extracción con el equipo Soxhlet

Es un método de extracción continuo que se utiliza para materiales sólidos. Consiste en colocar el material a extraer, previamente molido y pesado, en un cartucho de celulosa que se introduce en la cámara de extracción, conectada por una parte a un balón se calienta a ebullición, un refrigerante. El disolvente contenido en el balón se calienta a ebullición, el vapor asciende por el tubo lateral y se condensa en el refrigerante, cayendo sobre el material. Cuando alcanza el nivel conveniente sifonea por el tubo regresando al balón. El proceso se repite hasta conseguir el agotamiento deseado del material. (Lamarque et al., 2008, p. 52)

1.6. Turbidez

Definida como propiedad óptica de una muestra para disipar y absorber la luz en vez de transmitirla en línea recta, siendo en el caso del agua causada por material coloidal particulado ya sea mineral, arcilloso, diminutas partículas de materia orgánica e inorgánica, algas, plancton y microorganismos, provocando la coloración del agua. La turbidez aparente de una suspensión está directamente relacionada con el número, masa, índice de refracción y concentración de las partículas, siendo la causa principal de la turbidez del agua la dispersión de arcilla, ya que esta abarca una amplia gama de compuestos, pero generalmente son silicatos de aluminio con diversas formas, adquiriendo plasticidad al mezclarse con el agua. (Metcalf & Eddy, 2003, pp. 51, 52)

1.7. Sólidos totales suspendidos (SST)

Son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y residuales. Sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido. (Metcalf & Eddy, 2003, pp. 42–44)

1.8. Normas legales

La mayoría de los efluentes del proceso de extracción de aceite esencial de limón son utilizados para el riego de los campos de cultivo de los fundos de las mismas empresas o de campos de cultivo cercanos. Así mismo también pueden llegar a tener contacto con la vida acuática

Para ello el gobierno mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM plantea lo siguiente:

Única.- Modificación del artículo 2 de las Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

Modifíquese el artículo 2 de las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, de acuerdo a lo siguiente:

“Artículo 2.- Precisiones de las Categorías de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

- Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales
- Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto. Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo (tallo bajo), tales como plantas de ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares) y de plantas de porte arbustivo o arbóreo (tallo alto), tales como árboles forestales, frutales, entre otros.
- Sub Categoría D2: Bebida de Animales.
- (...)

- Categoría 4: Conservación del ambiente acuático
- Están referidos a aquellos cuerpos de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento y que cuyas características requieren ser protegidas.
- (Ejecutivo, 2015, p. 569081)

Tabla 3

Límites máximos permisibles para riego de vegetales y bebidas de animales

Parámetro	Unidad	Parámetros para riego de vegetales	Parámetros para bebida de animales
Potencial de hidrogeno	pH	6,5 -9	6,5 -9
Temperatura	°C	35	35
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1000	1000
Turbidez	NTU	5	5
Demanda química de Oxígeno	mg/L	15	40
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15	40

Fuente: Recuperado de “Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM” p. 569081, por Poder Ejecutivo. 2015 (Decreto Supremo). Diario El Peruano

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción del ámbito de estudio

El estudio se realizó con los efluentes del proceso de extracción de aceite de limón de AGROINDUSTRIAS AIB, ubicada en Av. Industrial Ricardo Bentin Mujica 101 – 103, Motupe

2.1.1. Localización de la planta de AGROINDUSTRIAS AIB



Figura 8: Ubicación planta Agroindustrias AIB. Recuperado de Google Maps. 2019(Aplicación de Google)

2.1.2. Tipo de estudio

El tipo de estudio de esta tesis es experimental.

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque.

2.1.3. Población y muestra

- Población

La población estará constituida por los efluentes del proceso de limón de AGROINDUSTRIAS AIB.

- **Muestra**

La muestra estará constituida por 10 litros de efluentes del proceso de limón, de los cuales 250 mL serán utilizados para cada experimento combinando los parámetros ya mencionados.



Figura 9. Toma de muestra

2.1.4. Variables

- ***Variable Independiente***

- Concentración de coagulante

- Tiempo de contacto

- ***Variable Dependiente***

- Turbidez

- Sólidos suspendidos totales (SST)

2.2. *Diseño experimental*

Las más óptimas condiciones para determinar la influencia de la concentración y tiempo de contacto del coagulante de penca azul (*agave americana l*). en la turbidez y SST del efluente de extracción de aceite de limón es mediante el uso de un diseño factorial $3 \times 3 = 9$. Dos respuestas (la turbidez y sólidos suspendidos totales) fueron evaluadas mediante la variación de 2 factores (concentración y tiempo de contacto del coagulante)

	T1	T2	T3
C1	C1T1	C1T1	C1T3
C2	C2T2	C2T2	C2T3
C3	C3T3	C3T3	C3T3

Dónde:

C1: 20 ppm	T1: 5 min
C2: 40 ppm	T2: 10 min
C3: 60 ppm	T3: 15 min

Tabla 4

Diseño factorial

Variable independiente		
Número	concentración	
de Muestras	del coagulante (ppm)	Tiempo de contacto (minutos)
1	20	5
2	20	10
3	20	15
4	40	5
5	40	10
6	40	15
7	60	5
8	60	10
9	60	15

Para poder determinar la influencia del coagulante, primero se analizaron los efluentes del proceso de limón (pH, SST y turbidez)

Posteriormente se acondicionaron estos efluentes para que el proceso de coagulación sea más efectivo, utilizando lechada de cal para regular el pH.

Para el tratamiento se preparó una solución de 10000 ppm.

A continuación se prepararon las 9 muestras en vasos de precipitado de 250 ml con concentraciones de coagulante diferentes, 3 de 20ppm, 3 de 40ppm y 3 de 60ppm

Las 9 muestras fueron de 250 ml cada una, de las cuales tres de ellas contenían 0.5 ml de coagulante, las otras tres 1 ml cada una y las ultimas 1.5 ml de coagulante.

Se hizo esta operación por duplicado, utilizando siempre en cada una de ellas un volumen de 250 ml

Posteriormente se tomó una muestra de diferente concentración y se agitó a 100 rpm, según (Contreras & Gutierrez, 2015; Morejón, 2017; Moreno, 2016) quienes en sus respectivas investigaciones concluyen que la velocidad óptima de agitación para el tratamiento de aguas con sus respectivos coagulantes naturales es de 100 rpm.

En esta investigación tomaremos un tiempo de coagulación de 5, 10 y 15 min y luego se disminuyó las revoluciones a 50 durante 20 min para dar paso a la floculación.

Finalmente se dejó sedimentar por espacio de treinta minutos y a cada muestra se le hizo el análisis de turbidez y SST respectivos para así evaluar la eficiencia de estos coagulantes.

2.2.1. *Materiales*

- Frascos de polipropileno de 500ml
- Vasos de precipitado de 100 y 250 ml
- Probeta 100 y 250 ml
- Soporte universal
- Matraz Kitassato
- Fiola de 250 ml
- Espátula
- Mortero
- Placas Petri
- Matraz Erlenmeyer de 250 y 500 ml
- Papel filtro Whatman
- Malla
- Crisoles
- Desecador
- Cooler
- Pinza metálica
- Pipeta de 10 ml
- Tela

2.2.2. *Reactivos*

- Cal
- Ácido sulfúrico H_2SO_4 1.25%

- Ácido bórico H_3BO_3 4%
- Fenolftaleína 1%
- Indicador (Rojo de Metilo y Verde de Bromotol) (Note: corrected from Bromotol to Bromotol in context)
- Hidróxido de Sodio NaOH 40%
- Ácido Clorhídrico HCl 0.1 N
- Éter de petróleo

2.2.3. Equipos

- Equipo de Soxhlet
- Equipo de digestión
- Balanza Analítica KERN
- Balanza EXCELL
- Turbidímetro HANNA
- Agitador magnético SYBRON
- Estufa MEMMERT
- Mufla THERMOLYNE
- Cocina FINEZZA
- Bomba al vacío

2.2.4. Extracción del coagulante de Penca Azul (Agave Americana L.)

Se cortaron 9 pencas de *Agave Americana L.* de aproximadamente 90 cm cada una, las cuales se encontraban en Huallabamba, distrito de Cañaris, provincia de Ferreñafe de aproximadamente 90 cm cada una.



Figura 10. Cortado de Penca Azul

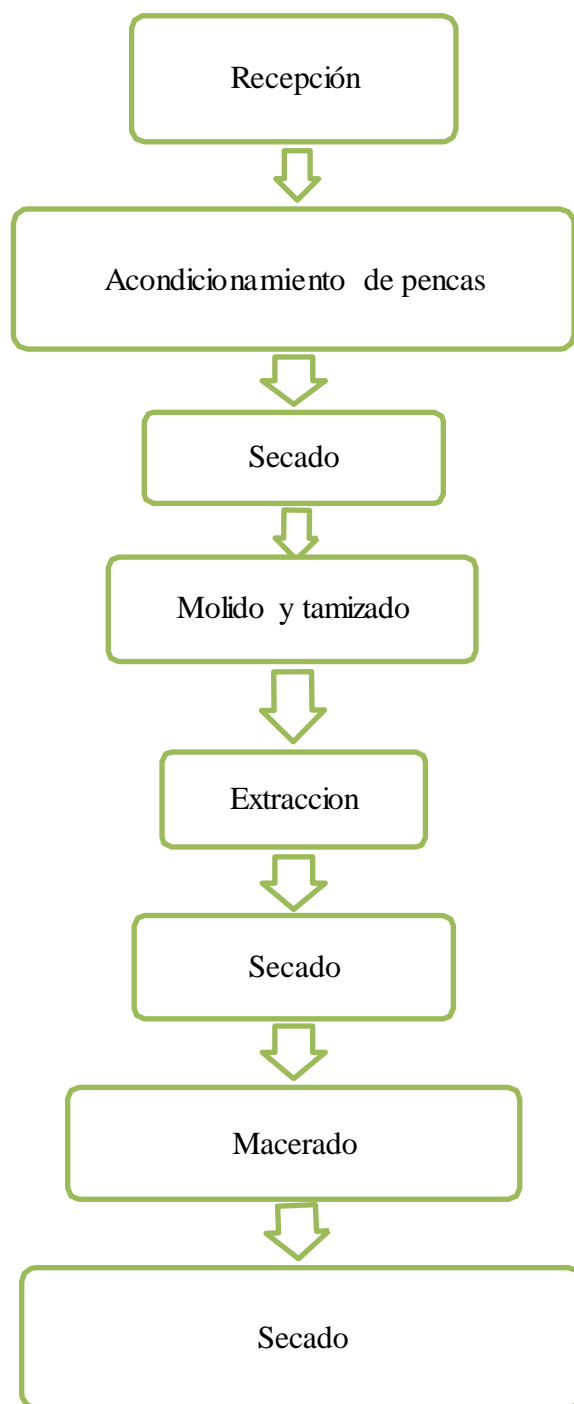


Figura 11. Diagrama de obtención de coagulante de Penca Azul

Se trasladaron las pencas al laboratorio en bolsas de polipropileno.

En el laboratorio se lavaron con agua potable, para eliminar tierra y otras sustancias. Luego se procedió al cortado de 1cm x 1cm aproximadamente.

Las pencas cortadas se agruparon en 3 muestras.

- ***Porcentaje de humedad***

Según los datos experimentales de Contreras y Sanabria (2015), se pesaron las muestras y luego se colocaron en una estufa para que sean secadas a una temperatura: 60°C y por un tiempo de 72 horas. Posteriormente se volvieron a pesar. Esto se repitió con las tres muestras que se hicieron.

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Masa de muestra húmeda} - \text{Masa de muestra seca}}{\text{Masa de muestra húmeda}} \times 100\%$$

Dónde:

WMH: Masa de muestra húmeda

WMS: Masa de muestra seca

El material seco fue molido, luego tamizado con malla de 1 mm, de esta muestra tamizada se toma porciones de 10 g aproximadamente y se formó cartuchos con papel filtro, luego estos cartuchos se colocan en el equipo soxhlet para la extracción de la clorofila y otros colorantes, utilizando como solvente el etanol, la extracción se realizó a temperatura de ebullición de este solvente. En el papel filtro de la cápsula de Soxhlet se queda un material granular, este se llevó a la estufa para secar a temperatura de ebullición del etanol.

Las condiciones para la extracción con soxhlet fueron:

Temperatura: 60°C

Volumen de etanol: 250mL

Tiempo: Hasta una completa decoloración

Este material granular se macera con agua destilada en una relación de 1:11,5 en peso y agitando a 600 rpm durante 01 hora, luego se filtra con tela. (Contreras & Gutierrez, 2015, p. 49,50)

El filtrado se lleva a secar a la estufa a 75°C por 20 min

- ***Rendimiento total del proceso***

$$\% R = \frac{WC}{WP} \times 100\%$$

Dónde:

WP: Masa de pencas

WC: Masa del coagulante obtenido

2.2.5. Caracterización de coagulante de Penca azul

Para evaluar las propiedades del coagulante obtenido se hicieron algunos análisis a este para tener información sobre el mismo y poder deducir sobre la influencia de su composición en el proceso.

- ***pH***

Para poder evaluar el potencial de hidrógeno del coagulante obtenido se diluyo en agua destilada y se hizo la medición del pH de las tres muestras obtenidas

- ***Cenizas***

Se pesó en un crisol 2 g de coagulante obtenido y luego se llevó a calentar hasta que cese el desprendimiento de humos y la muestra quede totalmente carbonizada. Posteriormente se llevó a la mufla a 550°C por 1 h. Se sacó y se llevó rápidamente a un desecador y luego se pesó a temperatura ambiente (Osborne y Voogt, 1986, p.174)

$$\% \text{ Proteína} = \frac{\text{M2} \times \text{Factor de conversión}}{\text{MI}} \%$$

Donde:

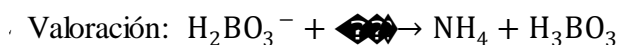
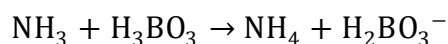
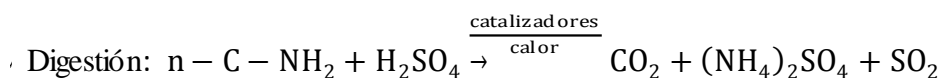
M2: masa de cenizas

MI: masa de coagulante en polvo

- *Proteínas por el método Kjeldahl*

El método Kjeldahl mide el contenido en nitrógeno de una muestra. El contenido en proteína se puede calcular seguidamente, presuponiendo una proporción entre la proteína y el nitrógeno para el alimento específico que está siendo analizando, tal y como explicaremos más adelante.

Este método puede ser dividido, básicamente en 3 etapas:



Para la digestión se utilizó 0.3 g de muestra y 25 ml Ácido Sulfúrico, los cuales se llevaron a calentar hasta que cese la formación de espuma y el contenido se haya licuado totalmente, en seguida se digiere por ebullición vigorosa hasta que el líquido se vuelva azul verdoso. Después de esto se dejó enfriar y se preparó el equipo para la destilación.

Se midió con la pipeta 15 ml de Ácido Bórico y se colocó en un matraz con 3 gotas de indicador (rojo de metilo y verde de bromotol).

Por otro lado en una fiola se diluyo la muestra en 150 ml de agua y se agregó NaOH al 40% y 2 gotas de fenolftaleína al 1% (Osborne & Voogt, 1986, p. 125)

$$\% \text{Proteína} = \frac{A \times N \times 1.4}{B} \times F$$

Dónde:

A: Gasto de HCl en ml

N: normalidad del HCl

B: Masa del coagulante en g para la digestión

F: factor para determinación proteínas

- *Grasas por el método Soxhlet*

La grasa se extrae con éter de petróleo a partir del coagulante obtenido en la determinación de humedad.

Se pesaron 8 g de muestra y en el equipo de soxhlet se colocó 250 ml de éter de petróleo a una temperatura de 60°C. Lo obtenido se lleva a la estufa a 100°C por espacio de 5 min. (Osborne & Voogt, 1986, p. 172)

$$\% \text{Grasa} = \frac{W_3 - W_2}{W_1} \times 100$$

Dónde:

W₁ Masa la muestra

W₂: Masa del vaso sin grasa

W₃: Masa del vaso con grasa

- *Fibra bruta*

La muestra es tratada con ácido sulfúrico en ebullición e hidróxido de sodio en ebullición. El residuo menos las cenizas se considera fibra.

Se pesó 2 g de muestra, la cual se disolvió con ácido sulfúrico al 1.25% y se llevó a ebullición por 30 min, posteriormente se filtró añadiendo constantemente agua en ebullición.

El filtrado se disolvió con hidróxido de sodio al 1.25%, llevándolo a ebullición por 30 min, en seguida se filtró añadiendo constantemente agua en ebullición.

Lo obtenido se lavó con alcohol y éter de petróleo. Posteriormente se secó a 100°C, luego se colocó la muestra en un crisol y se calentó hasta que se carbonizó para finalmente llevarlo a la mufla por tiempo de 1 hora a 550°C. (Osborne & Voogt, 1986, p. 175)

$$\% \frac{W_1 - W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

Dónde:

W_1 Masa de la muestra

W_2 : Masa de la materia insoluble

W_3 : Masa de las cenizas

- *Carbohidratos por diferencia*

Los carbohidratos se calcularon por diferencia de porcentajes con respecto a las proteínas, fibra, grasas y cenizas

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100\% - \% \text{ Proteínas} - \% \text{ Fibra} - \% \text{ Grasas} - \% \text{ Cenizas}$$

2.2.6. *Determinación de los parámetros iniciales de la muestra de efluentes del proceso de extracción de aceite de limón*

- *pH*

Es recomendable la medición in situ, de modo que no se modifique los equilibrios iónicos. Debido al transporte o una permanencia prolongada en recipientes cambia cuando es llevado al laboratorio, el método aplicado

en in situ es método electrométrico. (APHA, AWWA, & WPCF, 2017, pp. 33–37)

A los efluentes de la muestra de extracción de limón se le tomó el pH haciendo uso de un pH metro, esta prueba se hizo tres veces.

- ***Turbidez***

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Elevados niveles de turbiedad pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacteria. Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias.

Para medida de la turbidez se utiliza el Método Nefelométrico son expresados en UNT (Unidades nefelométricas de Turbidez) (APHA et al., 2017, p. 13)

Según Aldana (2012), la determinación nefelometría de la turbiedad utiliza el efecto de Tyndall - Faraday para su medición. Cabe destacar, sin embargo, que por la naturaleza de la medición, la turbiedad no se relaciona con el número de partículas que la provocan, ni siquiera con la masa total.

- ***Sólidos suspendidos totales (SST)***

Los “sólidos totales” es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporización de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida.

Determinación de sólidos suspendidos totales secados a 103-105°C, según el método normalizado. (APHA et al., 2017, p. 70)

Se taran individualmente en placas de vidrio los filtros estándar necesarios y se anota el peso inicial seco, determinado a 103-105°C.

Se filtra un volumen determinado de muestra homogeneizada a través de un filtro tarado, con una bomba de vacío.

Se seca en estufa a 103- 105° C luego se coloca al desecador y se pesa a temperatura ambiente.

$$A - B \left(\frac{1}{l} \right) = \frac{(A - B)}{C} \times 1000$$

Dónde:

A: masa del residuo seco más el filtro (mg)

B: Masa del filtro solo (mg)

C: volumen de muestra (ml)

2.2.7. Acondicionamiento de la muestra de efluentes del proceso de extracción de aceite de limón

Según Tesén y Molinero (2013) para regular el pH se agregó hidróxido cálcico o llamado también lechada de cal, la cantidad suficiente hasta llegar al pH máximo establecido por la .

Se preparó la lechada de cal a 20% y con la bureta se fueron acondicionando las muestras a un pH de 6.

2.2.8. Tratamiento de la muestra con el coagulante

- Dilución de coagulante

Se preparó soluciones de 10000 ppm de coagulante. Pesando 1 g de coagulante y aforando en fioles de 100 ml.

- Mezclado de las muestras con el coagulante

Cada muestra consto de 250 ml y se mezcló con el coagulante en condiciones de 20 ppm, 40 ppm y 60 ppm en tiempos de 5, 10 y 15 minutos.

- *Dilución de soluciones*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Dónde:

C_1 = concentración inicial

V_1 = volumen inicial

C_2 = concentración final

V_2 = volumen final

III. RESULTADOS

3.1. Características del coagulante extraído de penca azul

Tabla 5

Características del coagulante extraído.

Parámetro	Cantidad
Humedad	84.16
Ph	6
Cenizas	14.57
Proteínas	6.99
Fibra	15.5
Grasa	1.73
Carbohidratos	61.21

3.2. Características iniciales de los efluentes del proceso de extracción de aceite de limón

Tabla 6

Características iniciales de los efluentes de proceso de extracción de aceite esencial de limón.

Parámetro	Cantidad
Ph	4.2
Temperatura	35
Turbidez	191 NTU
Sólidos totales	14400 mg/L

3.3. Capacidad de disminución de SST mediante el coagulante de penca Azul evaluando concentración y tiempo de contacto

Las figuras 12, 13 y 14 muestran el porcentaje de disminución de SST vs concentración de coagulante (ppm) de penca azul en un tiempo de agitación que varía entre 5, 10 y 15 min a 100 rpm, seguido de 20 min a 50rpm para la floculación.

Como se puede observar, tanto el tiempo de contacto como la concentración del coagulante de penca azul tienen influencia significativa sobre el porcentaje de disminución de SST.

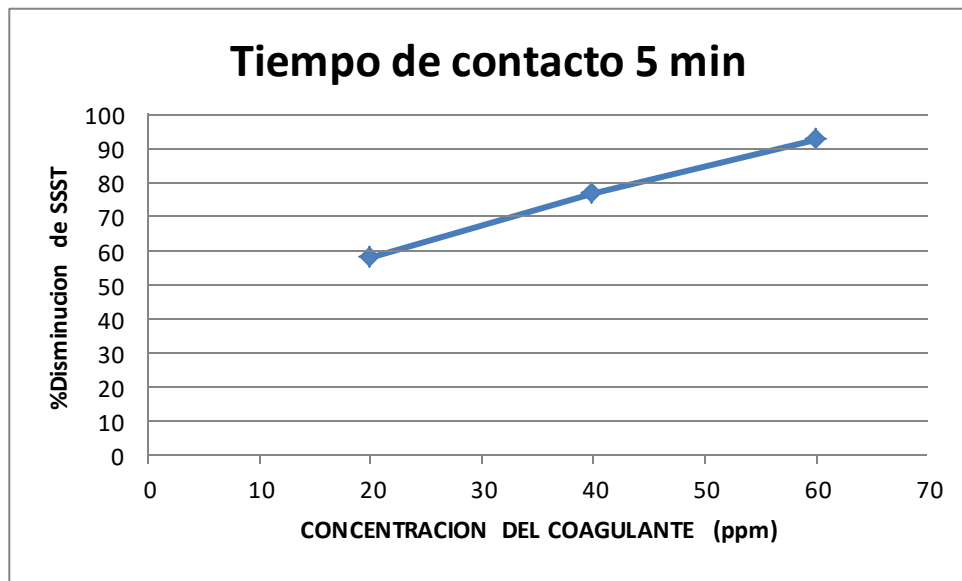


Figura 12. Porcentaje de disminución de SST con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 5 min.

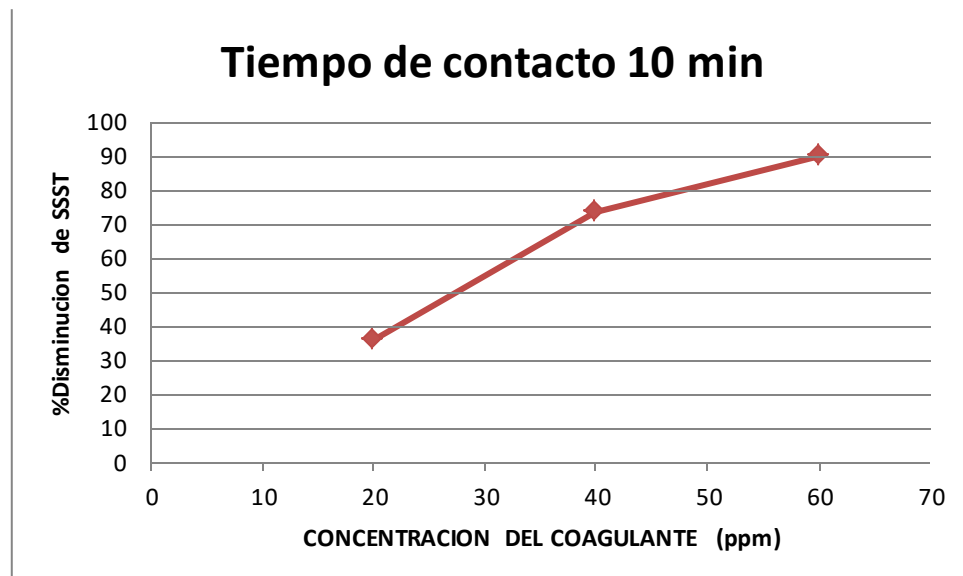


Figura 13. Porcentaje de disminución de SST con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 10 min.

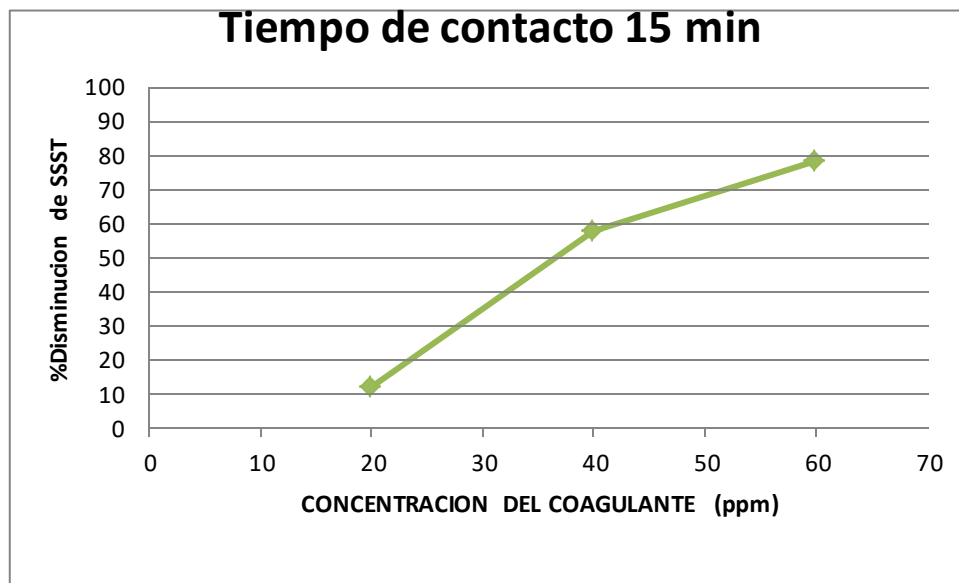


Figura 14. Porcentaje de disminución de SST con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 10 min.

En la figura **15** se observa la interacción de ambos factores, se puede observar que ambos factores influyen sobre el porcentaje de disminución de SST.

Por ello que en la figura se muestra que el mayor porcentaje de disminución de SST se da en una concentración de 40 y 60 ppm. Sin embargo el mayor porcentaje con menos tiempo se da a los 5 min con un porcentaje con una concentración de 20 ppm, teniendo como resultado una disminución de 58,34%

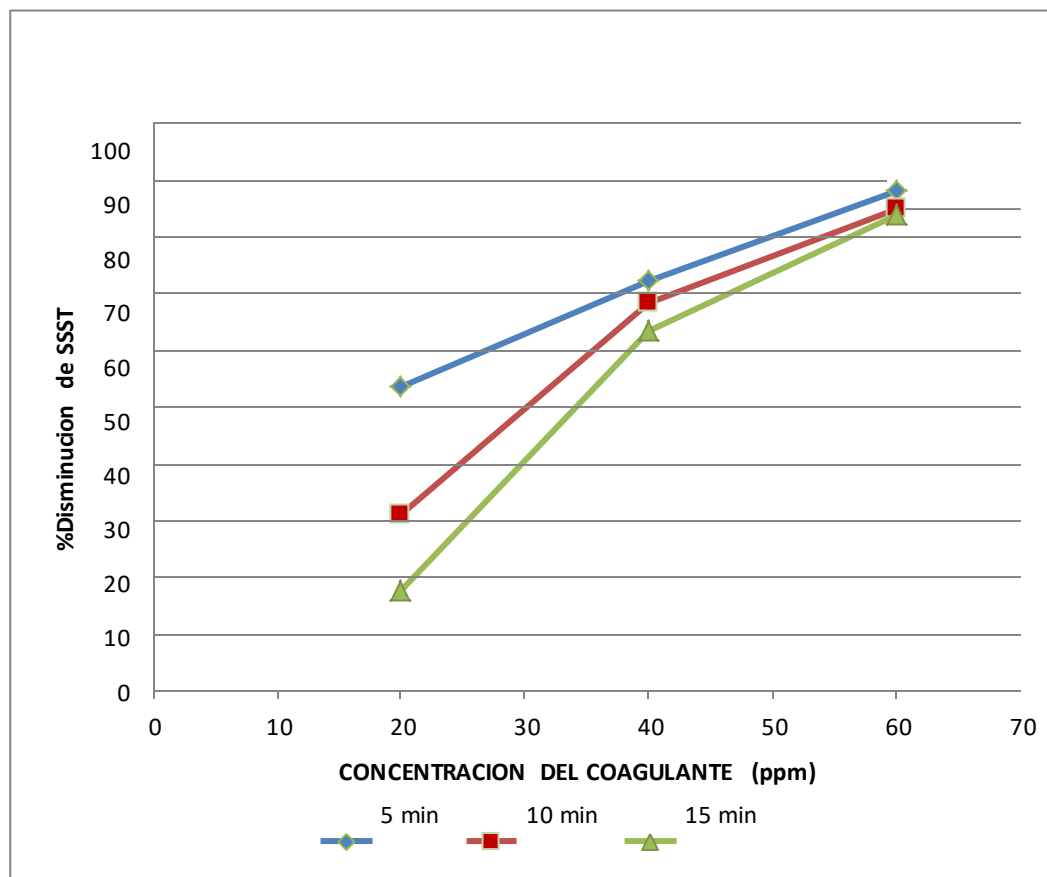


Figura 15. Porcentaje de disminución de SST vs concentración del coagulante a distintos tiempos

Tabla 7

Análisis factorial de varianza para porcentaje de disminución de SST.

Coagulante de penca		Tiempo de contacto (min)							YI	
(ppm)		5		10		15				
20	58.28	3396.56	116.82	35.40	1253.16	71.66	22.64	512.57	45.03	392.12
	58.44	3415.23		36.26	1314.19		22.39	201.31		
40	68.19	4649.88	135.59	73.17	5353.85	146.46	77.35	5983.02	154.72	
	68.4	4678.56		73.31	5374.36		77.39	5989.21		
60	92.88	8626.69	185.82	90.06	8110.80	179.96	88.65	7858.82	177.68	572.30
	92.94	8637.84		89.90	8082.01		89.03	7926.34		
Yj		439.13		398.08			477.43			1439.46

Tabla 8.

Resultado ANOVA para porcentaje de disminución de SST.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	Valor P-value
A=					
Concentración	8281.574	2	4140.787	70235.741	0.000
B= Tiempo	811.392	2	405.696	6881.388	0.000
Interacción	601.870	4	150.468	2552.220	0.000
Error	0.531	9	0.059		
Total	9695.367	17			

3.4. Capacidad de disminución de Turbidez mediante el coagulante de penca Azul

La figuras 16, 17 y 18 muestra el **porcentaje de disminución de turbidez vs concentración de coagulante (ppm)** de penca azul en un tiempo de agitación que varía entre 5, 10 y 15 min a 200 rpm, seguido de 20 min a 50rpm para la floculación.

Como se puede observar la concentración del coagulante de penca azul tiene mayor influencia significativa sobre el porcentaje de disminución de turbidez que el tiempo de contacto.

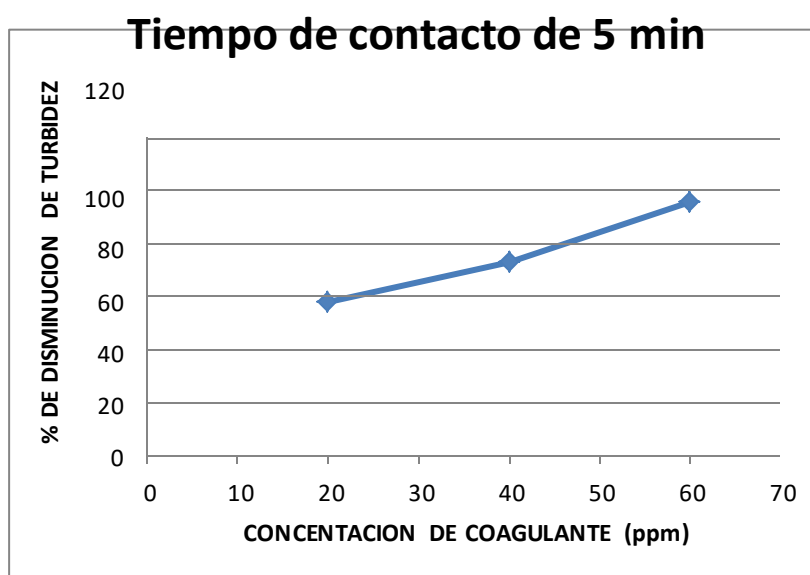


Figura 16. Porcentaje de disminución de Turbidez con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 5 min.

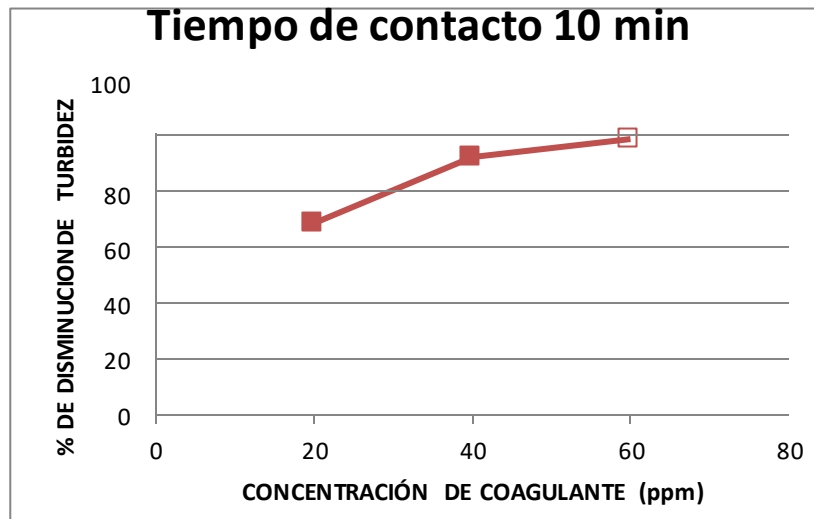


Figura 17. Porcentaje de disminución de Turbidez con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 10 min.

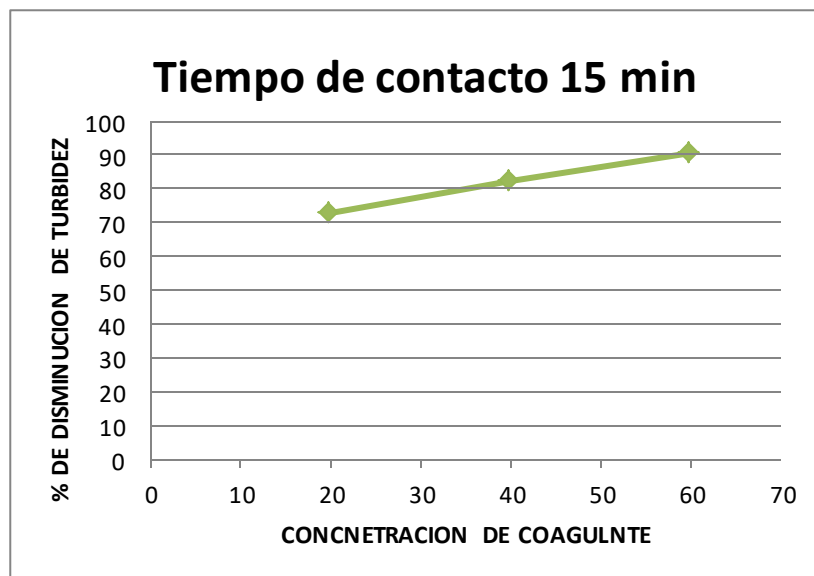


Figura 18. Porcentaje de disminución de Turbidez con coagulante de Penca Azul de concentración de 20, 40 y 60 ppm en tiempo de contacto de 15 min.

En la figura **19** se observa la interacción de ambos factores, se puede observar que el factor de mayor significancia con respecto al porcentaje de disminución de turbidez es la concentración pues la diferencia de disminución entre los diferentes tiempos es mínima para una misma concentración

Es así que en la figura se observa que el mayor porcentaje de disminución de turbidez se tiene con una concentración de 40 ppm con un

tiempo de contacto de 10 minutos, así mismo se puede observar que las concentraciones de 20 y 40 ppm son más óptimas en los tiempos de contacto de 5 y 10 min.

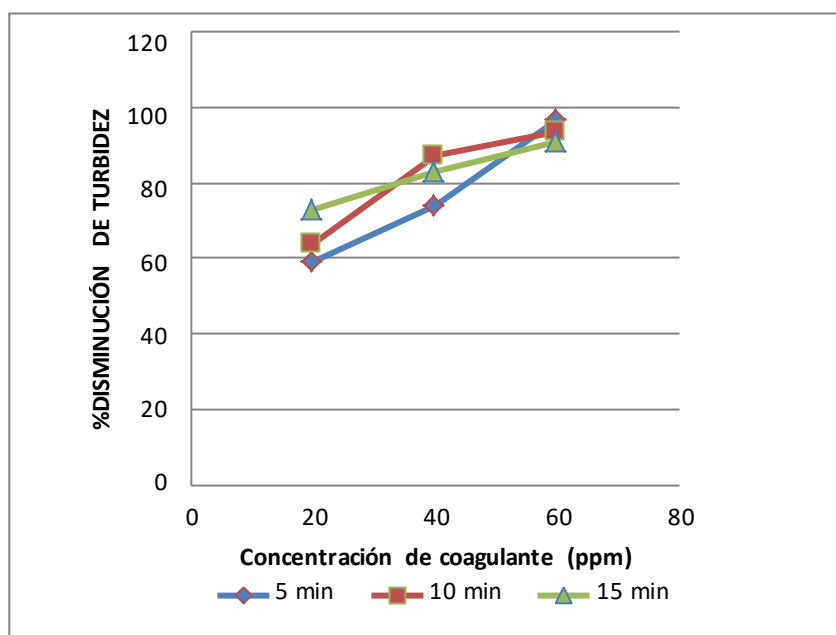


Figura 19. Porcentaje de disminución de Turbidez vs concentración del coagulante a distintos tiempos.

Tabla 9.

Análisis factorial de varianza para disminución de Turbidez.

Coagulante de penca		Tiempo de contacto (min)								YI	
(ppm)		1		2		3					
20	59.16	3499.91		63.46	4027.17	72.62	5273.66				
	59.37	3424.80	118.53	64.21	4122.92	127.67	73.30	5372.89	150.92	392.12	
40	73.97	5471.56		86.60	7499.56		96.96	9401.24			
	74.34	5526.44	148.31	87.91	7728.17	174.51	96.86	9381.86	193.82	516.64	
60	82.93	6677.38		92.93	8635.98		90.26	8146.87			
	82.67	6834.33	165.6	93.72	8783.44	186.65	90.94	8270.08	187.20	533.45	
Yj		432.44		488.83			520.94			1442.21	

Tabla 10.

Resultado ANOVA de porcentaje de disminución de turbidez.

Fuente de	Suma de	Grados de	Cuadrado	Fo	Valor P-value
variación	cuadrados	libertad	medio		
A=					
Concentración	1986.776	2	993.388	4376.052	0.000
B= Tiempo	669.063	2	334.532	1473.671	0.000
Interacción	166.513	4	41.628	183.380	0.000
Error	2.043	9	0.227		
Total	2824.395	17			

IV. DISCUSIÓN

- El mayor porcentaje de disminución de SST alcanzado en esta investigación haciendo uso del coagulante de penca azul es de 92.94% en un tiempo de contacto de 5 min a 100 rpm para coagulación y una concentración de coagulante de 60 ppm, lo cual guarda relación con Apaza Aquino (2012) quien alcanza un 98.93% de disminución de SST en agua del Río Chili en un tiempo de contacto de 3 minutos de coagulación a 150 rpm y una concentración de coagulante de Nopal de 80%. Con esto se puede observar la gran importancia tanto la concentración del coagulante como el tiempo de contacto del mismo para la disminución de SST.
- En esta investigación que determina la influencia de concentración y tiempo de contacto de coagulante de Penca Azul para disminución de SST muestra diferencia con lo realizado por Vasquez Gonzales (1994) quien hace uso del coagulante del Nopal para tratar agua residual doméstica con un tiempo de contacto de 1 min y velocidad de 100 rpm, con una concentración de coagulante de 15 ppm y quien solo alcanza un porcentaje de remoción de 11.2%.
- Para el ANOVA de porcentaje de disminución de SST se tiene los valores de F de 70235.741, 6881.388 y 2552.22, para las tres la significación es 0.000. Al ser esta menor que 0.05 tanto las concentraciones como los tiempo de contacto y la interacción entre ambos son significativas.
- El mayor porcentaje de disminución de turbidez en la investigación realizada es del 96.91% (5.8 UNT) con una concentración de coagulante de penca azul de 60 ppm en un tiempo de contacto de 1 min a 100 rpm, mientras que Quispe Barreto y Rondoño Chávez (2018) removió hasta un 68.61% de una muestra inicial de 13.7 UNT hasta 4.3 UNT con 35 ppm de coagulante de Penca, cabe resaltar que de esta manera se llega muy cerca a los límites permisibles.
- La influencia de concentración y tiempo de contacto de coagulante de Penca Azul para disminución de Turbidez se logra con 60 ppm de coagulante con un tiempo de contacto de 15 min, logrando una turbidez final de 5.8 UNT, sin

embargo si variamos esta concentración a 40 ppm se logra un aumento de turbidez a 51.65 UNT, esto nos hace corroborar que la concentración de coagulante influye en el porcentaje de disminución de turbidez, lo cual corrobora Moreno Pérez (2016) quien muestra que al variar la concentración de 6 g a 9 g en *Opuntia ficus indica* la concentración influye de 204 a 210 UNT, sin embargo con *Caesalpinia spinosa* y *Aloe vera* las cantidades de coagulante-floculante vegetal influyen de manera muy mínima, de 281 a 283 UNT y de 312 a 314 UNT. Cabe resaltar que esto también depende de las características iniciales del agua a tratar.

Para el ANOVA de porcentaje de disminución de Turbidez se tiene los valores de F de 4376, 1473 y 183, para las tres la significación es 0.000 .Al ser esta menor que 0.05 tanto las concentraciones como los tiempo de contacto y la interacción entre ambos son significativas para este parámetro

V. CONCLUSIONES

- Se determinó la influencia de la concentración y el tiempo de contacto del coagulante de penca azul (*Agave Americana L.*) en la disminución de hasta un 92,94 % (1016 mg/ L final) de SST de los efluentes del proceso de extracción de limón con una concentración de 60 ppm de coagulante de penca azul (*Agave AmericanaL.*) en un tiempo de contacto de 5 min de coagulación. Mientras que, en el porcentaje de disminución de turbidez, se demostró hasta un 96,96 % (5.8 UNT final) a las mismas condiciones. Los resultados del diseño factorial con un 95% de confianza mostraron que existe una influencia significativa de los factores de concentración, tiempo de contacto y la interacción entre ellos con respecto tanto para el porcentaje de disminución de turbidez como para el de SST.
- Se analizó los efluentes del proceso de extracción de aceite de limón, obteniendo resultados de pH, UNT y SST muy por encima de los permitidos por las normas.
- Se contrastaron los resultados con los límites máximos permitidos por la norma peruana y éstos estuvieron fuera de los límites permisibles.
- Se extrajo el coagulante de penca azul teniendo un rendimiento de 7.6%, un pH óptimo para realizar la coagulación y se determinó un porcentaje considerable de carbohidratos.
- Se determinó que tanto el tiempo de contacto y la concentración del coagulante influyen sobre el porcentaje de disminución de SST y turbidez, siendo los parámetros óptimos los de 60 ppm en 5 min.
- Se contrastaron los resultados obtenidos: 5.8 UNT y 1016 mg/l y estos estuvieron muy cerca de los límites permitidos por la norma peruana.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Evaluar la influencia del coagulante sobre otros parámetros como pH, DQO y DBO.
- Hacer el análisis in situ de los efluentes o tomar las debidas precauciones para conservar la muestra hasta llegar al laboratorio.
- Efectuar otros análisis fisicoquímicos al agua a tratar como SDT, DQO y DBO.
- Liofilizar el coagulante después de su maceración para una mayor conservación y hacer un análisis más minucioso
- Evaluar otros parámetros como la velocidad de agitación del coagulante su influencia sobre las diferentes características de los efluentes.
- Combinar el coagulante de Penca Azul, con algún coagulante metálico en menor proporción, para así obtener resultados más óptimos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alasino, N. (2009). *Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales* (Universidad Nacional del Litoral). Retrieved from <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/119/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aldana, E. (2012). *Uso del extracto de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural primaria y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. Retrieved from http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Apaza, H. (2013). *Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa*. Retrieved from <https://www.cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/tratamiento-ecologico.pdf>
- APHA, AWWA, & WPCF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Retrieved from <https://www.awwa.org/Portals/0/files/publications/documents/2017SMWWLookInside.pdf>
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment* (Tercera Ed). Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=PabQDAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=theory+of+coagulation+in+water+treatment&ots=t1bUGr8qG3&sig=Jd32AJ39vh0OCnyni2vaiE4PzN0#v=onepage&q=248&f=false>
- Calidad, A. (n.d.). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Retrieved from https://www.academia.edu/35121115/ANALIZA_CALIDAD_ASESORES_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_INDUSTRIALES
- Carrasquero, S., Marínez, M., Catro, M., López, Y., Díaz, A., & Colina, G. (2019). *Remoción de turbidez usando semillas de E Tamarindus indica como coagulante en la potabilización de agua*. 4(1), 19–43. <https://doi.org/ISSN2588-0764>
- Contreras, K., & Gutierrez, T. (2015). *Remoción de plomo de las aguas del efluenteminero de Yauli La Oroya utilizando el coagulante de Maguey (Agave Americana L.) a nivel de laboratorio* (Universidad Nacional del Centro del Perú). Retrieved from http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3730/Contreras_Sanabria-Gutierrez_Mayta.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ejecutivo, P. (2015, December 19). Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. *El*

Peruano, pp. 569076–569082. Retrieved from <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ds-nde-g-015-2015-minam.pdf>

Freire, P. (2012). *Análisis y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa Teimsa – Ambato*. (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/2337/1/15T00504.pdf>

Klašnja, M., Antov, M., Škrbic, B., & Šc, M. (2009). *Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn*. 100, 6639–6643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>

Lamarque, A., Zygadlo, J., Labuckas, D., López, L., Torres, M., & Maestri, D. (2008). *Fundamentos teorico-practicos de quimica organica* (Encuentro). Retrieved from https://books.google.com.mx/books?id=dehU1IJRky8C&p g=PA12&lp g=PA12&dq=reflujo+organico&source=bl&ots=cRldCXuBFv&sig=2PaBv9IK4s80KxLueYk1-rghJxc&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjgtjg5aTQAhVIKiYKHfgMC_UQ6AEISzAF#v=onepage&q=reflujo organico&f=false

Martínez, J., & Gonzáles, L. (2012). *Evaluación del poder coagulante de la tuna (Opuntia ficus indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas* (Universidad de Cartagena). Retrieved from <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/137/1/EVALUACIÓN DEL PODER COAGULANTE DE LA TUNA %28Opuntia ficus indica%29 PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ Y COLOR EN AGUAS CRUDAS..pdf>

Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse.pdf* (Cuarta). Mc Grill.

Morejón, B. (2017). *Utilización del mucílago de tuna (Opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad de agua del consumo humano, , en la comunidad de Pusir Grande provincia de Carchi* (Universidad Técnica del Norte). Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6621/1/PG%20496%20TESIS.pdf> TESIS.pdf

Moreno, S. (2016). *Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa* (Universidad César Vallejo). Retrieved from <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/6854>

Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D., & Montes, L. (2014). Utilización de Tuna (Opuntia ficus - indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *AVANCES Investigación En Ingeniería*, 11(1), 70–75. Retrieved

from <http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art7.pdf>

Osborne, D., & Voogt, P. (1986). *The analysis of nutrients in food*. Academic Press.

Pérez, J., Richter, C., & Cánepa de vargas, L. (1977). *Coagulación*. 78. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/016322/016322-01.pdf>

Quispe, H. (2012). *Alicacion del mucílago extraido de Nopal (Opuntia Ficus Indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma* (Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann). Retrieved from <http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/573/TG0457.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quispe, M., & Rondoño, R. (2018). *Estimación de la calidad del agua de río Chucchun - Carhuaz, empleando insumos orgánicos "Agave Americano (Penca) y el Triticum Vulgare (Trigo)" con proceso modificado de filtración lenta en el año 2016* (Univeridad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo). Retrieved from <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/246>

Santos, A., Luz, L., Napoleao, T., Paiva, P., & Coelho, L. (2014).

Coagulation, flocculation, agglutination and hemagglutination: similar properties? *Advances in Chemistry Research*, 20, 21. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/262866085_Coagulation_Flocculation_Agglutination_and_Hemagglutination_Similar_Properties

Tesén, M., & Molinero, P. (2013). Hidróxido Cálcico para tratamiento de Efluentes de la industria de aceite esencial de limón. *Revista de La Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo*, 6(2). Retrieved from http://repositorio.usat.edu.pe/bitstream/usat/97/1/Flumen_Vol6_n2_2.pdf

Vazquez, O. (1994). *Extracción de coagulantes naturales del Nopal y Aplicación en la clarificación de aguas superficiales*. Universidad Autónoma de Nueva León.

VIII. ANEXOS

Anexo 1.

Obtención y caracterización del coagulante de penca azul (*Agave Americana L.*)

- Cálculo del porcentaje de rendimiento

$$\% R = \frac{WC}{WP} \times 100\%$$

$$\% R = \frac{0.041}{0.500} \times 100\% = 8.2\%$$

Número de muestra	WP (Kg)	WC (Kg)	%Rendimiento
Muestra 1	0.500	0.04	8
Muestra 2	0.450	0.032	7.1
Muestra 3	0.500	0.041	8.2
Media			7.76

- Cálculo de Porcentaje de humedad de Penca Azul

$$\% \text{Humedad} = \frac{WMS}{WMH} \times 100\%$$

$$\% \text{Humedad} = \frac{0.500 - 0.081}{0.500} \times 100\% = 83.8\%$$

Número de muestra	WMH (Kg)	WMS (Kg)	%Humedad
Muestra 1	0.500	0.081	83.8
Muestra 2	0.450	0.067	85.1
Muestra 3	0.500	0.082	83.6
Media			84.16

Calculo del porcentaje de ceniza del coagulante de penca azul

$$\% \text{ ceniza} = \frac{\text{peso de ceniza}}{\text{peso de coagulante}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{0.29}{2} \times 100\% = 14.5\%$$

Número de muestra	M 1 (g)	M 2(g)	% Cenizas
Muestra 1	2	0.29	14.5
Muestra 2	1.9	0.27	14.21
Muestra 3	2	0.30	15
Media			14.57

Cálculo del porcentaje de proteínas

$$\% P = \frac{N \times F}{M} \times 1.4$$

$$\% P = \frac{N \times 1.4}{M} \times F$$

N° de muestra	M 1 (g)	HCL 0.1N (mL)	% Proteínas
Muestra 1	0.3	2.2	5.85
Muestra 2	0.3	2	5.32
Muestra 3	0.3	2.1	5.59
Media			5.59

Cálculo del porcentaje de Grasas

$$\% G = \frac{W_1 - W_2}{W_3} \times 100$$

$$\% G = \frac{53.18 - 52.99}{8} \times 100$$

N° de muestra	W 1(g)	W2	W3	% Grasas
---------------	--------	----	----	----------

Muestra 1	10	52.99	53.18	1.9
Muestra 2	10	52.99	53.15	1.5
Muestra 3	10	52.99	53.21	1.8
Media				1.73

· Cálculo del porcentaje de Fibra

$$\% \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

$$\% \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

N° de muestra	W 1(g)	W2	W3	% Fibra
Muestra 1	1	0.33	0.02	15.5
Muestra 2	2	0.31	0.01	16
Muestra 3	2	0.32	0.02	15
Media				15.5

· Cálculo del porcentaje de Carbohidratos

N° de muestra	% Cenizas	% Proteínas	% Grasas	% Fibra	% Carbohidratos
Muestra 1	14.5	5.85	1.9	15.5	62.25
Muestra 2	14.21	5.32	1.5	16	62.97
Muestra 3	15	5.59	1.8	15	62.61
Media					62.21

Anexo 2

Tratamiento de efluentes dl proceso de extracción de limón con coagulante de Penca Azul

· Características iniciales de los efluentes

Parámetro	Cantidad
Ph	3
Turbidez	141 NTU
SST	14400 mg/l

· Preparación de coagulante a diferentes concentraciones

- A 20ppm: $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$

$$10000 \text{ mg/l} \times V_1 = 20 \text{ mg/l} \times 250 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0.5$$

- A 40 ppm $\phi_1 \times \phi_1 = \phi_2 \times \phi_2$

$$10000 \times \frac{V_1}{V_2} = 40 \times 250$$

$$1 = \frac{V_2}{V_1}$$

- A 60 ppm $V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$

$$10000 \times \frac{V_1}{V_2} = 20 \times 250$$

$$1.5 = \frac{V_2}{V_1}$$

Muestra	ml de coagulante	ml de efluentes
1	0.5	249.5
2	0.5	249.5
3	0.5	249.5
4	0.5	249.5
5	0.5	249.5
6	0.5	249.5
7	1	249
8	1	249
9	1	249
10	1	249
11	1	249
12	1	249
13	1.5	248.5
14	1.5	248.5
15	1.5	248.5
16	1.5	248.5
17	1.5	248.5
18	1.5	248.5

Anexo 3:

Resultados finales de porcentajes de disminución de Turbidez y SST

Muestra	Concentración (ppm)	Tiempo (min)	SST	% de disminución de SST	Turbidez	% de disminución de Turbidez
1	20	5	6008	58,28	78	59.16
2	20	5	5984	58,44	77.6	59.37
3	20	10	9302	35,40	69.8	63.46
4	20	10	9178	36,26	68.35	64.21
5	20	15	11140	22,64	52.3	72.62
6	20	15	11176	22,39	51.3	73.30
7	40	5	4580	77,35	49.7	73.98
8	40	5	4550	77,38	49	74.35
9	40	10	3864	73,17	25.6	86.60
10	40	10	3844	73,30	23.1	87.91
11	40	15	3262	68,19	32.6	82.93
12	40	15	3258	68,40	33.1	82.67
13	60	5	1024	92,89	5.8	96.96
14	60	5	1016	92,94	6	96.86
15	60	10	1432	90,06	13.5	92.93
16	60	10	1454	89,90	12	93.72
17	60	15	1634	88,65	18.6	90.26
18	60	15	1580	89,03	17.3	90.94

Anexo 4 Cálculos estadísticos

- Para % de disminución de SST

Muestra	% de disminución de SST
1	58,28
2	58,44
3	35,40
4	36,26
5	22,64
6	22,39
7	77,35
8	77,38
9	73,17
10	73,30
11	68,19
12	68,40
13	92,89
14	92,94
15	90,06
16	89,90
17	88,65
18	89,03
?	67.48

?	?	(?)
58,28	9,2	84,64
58,44	9,04	81,7216
35,4	32,08	1029,1264
36,26	31,22	974,6884
22,64	44,84	2010,6256
22,39	45,09	2033,1081
77,35	-9,87	97,4169
77,38	-9,9	98,01
73,17	-5,69	32,3761
73,3	-5,82	33,8724
68,19	-0,71	0,5041
68,4	-0,92	0,8464
92,89	-25,41	645,6681
92,94	-25,46	648,2116
90,06	-22,58	509,8564

89,9	-22,42	502,6564
88,65	-21,17	448,1689
89,03	-21,55	464,4025
SUMA		9695,8999

Desviación estándar: $\sqrt{\frac{9695,90}{18}} = 23.2$

- Para % de disminución de Turbidez

Muestra	% de disminución de Turbidez
1	59.16
2	59.37
3	63.46
4	64.21
5	72.62
6	73.30
7	73.98
8	74.35
9	86.60
10	87.91
11	82.93
12	82.67
13	96.96
14	96.86
15	92.93
16	93.72
17	90.26
18	90.94
?	80.12

$\sum x_i$	$\sum x_i^2$	$(\sum x_i)^2$
59,16	20,96	439,3216
59,37	20,75	430,5625
63,46	16,66	277,5556
64,21	15,91	253,1281
72,62	7,5	56,25
73,3	6,82	46,5124
73,98	6,14	37,6996
74,35	5,77	33,2929
86,6	-6,48	41,9904
87,91	-7,79	60,6841
82,93	-2,81	7,8961
82,67	-2,55	6,5025
96,96	-16,84	283,5856
96,86	-16,74	280,2276
92,93	-12,81	164,0961
93,72	-13,6	184,96
90,26	-10,14	102,8196
90,94	-10,82	117,0724
SUMA		2824,1571

Desviación estándar: $\sqrt{\frac{9695,90}{18}} = 23.2$

Anexo 5

Galería Fotográfica

Obtención de coagulante de penca Azul

1. Lavado y cortado de pencas



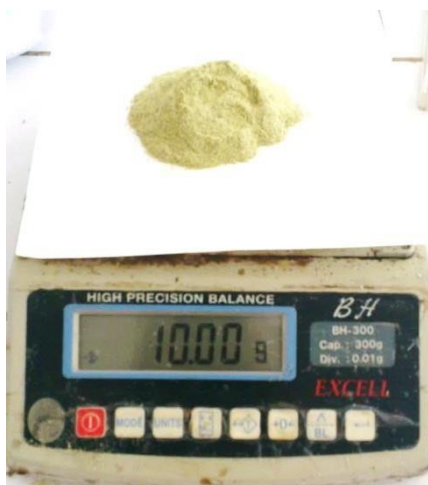
2. Masado y secado de pencas



3. Molido y tamizado de pencas



4. Extracción por equipo Soxhelt





5. Homogenización y Macerado del coagulante



- Caracterización del coagulante

1. Determinación de pH



2. Cálculo del porcentaje de cenizas



3. Determinación de proteínas por el método Kjeldahl



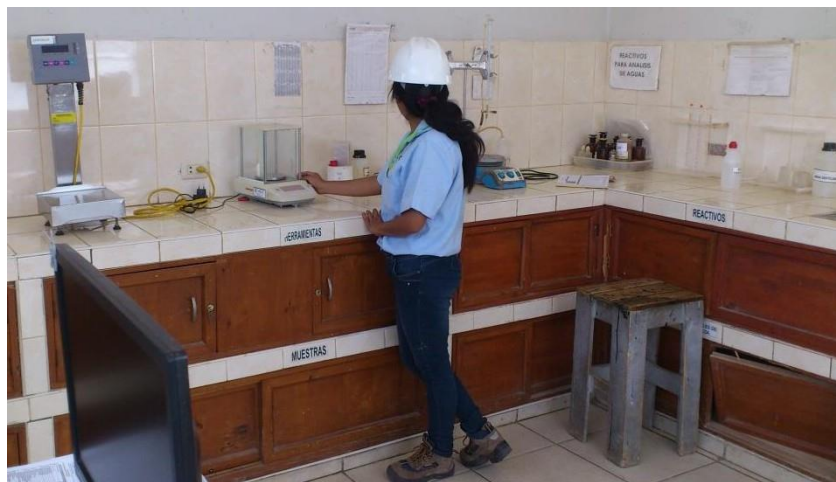
4. Determinación de grasas



5. Determinación de fibra bruta



- Análisis in situ de la muestra de los efluentes obtenida



- Tratamiento de los efluentes a distintas concentraciones y tiempo de contacto



- Análisis después de cada tratamiento

1. Determinación de SST.



2. Determinación de turbidez



3. Agua tratada con coagulante de penca azul a diferentes concentraciones y tiempo de contacto



A 15 min y 20 ppm

52 UNT y 11176 mg/L



A 10 min y 40 ppm

23 UNT y 3844 mg/L



A 5 min y 60 ppm

5,8 UNT y 1024 mg/L